Apuntes de audio

Introducción

El sonido es la vibración de un medio elástico, bien sea gaseoso, líquido o sólido. Cuando nos referimos al sonido audible por el oído humano, estamos hablando de la sensación detectada por nuestro oído, que producen las rápidas variaciones de presión en el aire por encima y por debajo de un valor estático. Este valor estático nos lo da la presión atmosférica (alrededor de 100.000 pascals), el cual tiene unas variaciones pequeñas y de forma muy lenta, tal y como se puede comprobar en un barómetro.

¿Cómo son de pequeñas y de rápidas las variaciones de presión que causan el sonido? Cuando las rápidas variaciones de presión se centran entre 20 y 20.000 veces por segundo (igual a una frecuencia de 20 Hz a 20 kHz), el sonido es potencialmente audible, aunque las variaciones de presión puedan ser a veces tan pequeñas como la millonésima parte de un pascal. Los sonidos muy fuertes son causados por grandes variaciones de presión, por ejemplo, una variación de 1 pascal se percibe como un sonido muy fuerte, siempre y cuando la mayoría de la energía de dicho sonido estuviera contenida en las frecuencias medias (1 kHz - 4 kHz), que es donde el oído humano es más sensible.

El sonido lo puede producir diferentes fuentes, desde una persona hablando hasta un altavoz, que es una membrana móvil que comprime el aire generando ondas sonoras.

La Frecuencia (Hz)

Como hemos visto, el sonido se produce como consecuencia de las compresiones y expansiones de un medio elástico, es decir, de las vibraciones que se generan en él.

La frecuencia de una onda sonora se define como el número de pulsaciones (ciclos) que tiene por unidad de tiempo (segundo). La unidad correspondiente a un ciclo por segundo es el herzio (Hz).

Las frecuencias más bajas se corresponden con lo que habitualmente llamamos sonidos "graves", son sonidos de vibraciones lentas. Las frecuencias más altas se corresponden con lo que llamamos "agudos" y son vibraciones muy rápidas.

El espectro de frecuencias audible varía según cada persona, edad, etc. Sin embargo, normalmente se acepta como el intervalo entre 20 Hz y 20 kHz.

Decibelio (dB)

El decibelio es una unidad logarítmica de medida utilizada en diferentes disciplinas de la ciencia. En todos los casos, se usa para comparar una cantidad con otra llamada de referencia. Normalmente, el valor tomado como referencia es siempre el menor valor de la cantidad. En algunos casos, puede ser un valor promediado aproximado. En Acústica, la mayoría de las veces, el decibelio se utiliza para comparar la presión sonora en el aire con una presión de referencia. Este nivel de referencia tomado en Acústica es una aproximación al nivel de presión mínimo que hace que nuestro oído sea capaz de percibirlo. El nivel de referencia varía lógicamente según el tipo de medida que estemos realizando. No es el mismo nivel de referencia para la presión acústica que para la intensidad acústica o para la potencia acústica. A continuación, se dan los valores de referencia:

Nivel de Referencia para la presión Sonora (en el aire) = 0.00002 = 2E-5 Pa (rms)
Nivel de Referencia para la Intensidad Sonora (en el aire) = 0.000000000001 = 1E-12 w/m²
Nivel de Referencia para la Potencia Sonora (en el aire) = 0.00000000001 = 1E-12 w

Como su nombre indica, el decibelio es la décima parte del Bel. El Bel es el logaritmo en base 10 de la relación de dos potencias o intensidades. No obstante, esta unidad resulta demasiado grande, por lo que se ha normalizado el uso de la décima parte del Bel, siendo el decibel o decibelio. La fórmula para su aplicación es la siguiente, partiendo de que la intensidad acústica en el campo lejano es proporcional al cuadrado de la presión acústica, se define el nivel de presión sonora como:

$$Lp = 10 \log \left(\frac{p^2}{pr}\right) = 20 \log \left(\frac{p}{pr}\right)$$

Siendo *Lp* = Nivel de presión sonora; *p* la presión medida; *pr* la presión de referencia (2E-5 Pa).

Como es fácil ver, el nivel de referencia siempre se corresponde con el nivel de 0 dB:

$$Lp = 20 \log \left(\frac{0.00002}{0.00002}\right) = 20 \log(1) = 20 \times 0 = 0 \, \mathrm{dB}$$

Por lo tanto, en 0 dB tenemos el umbral de audición del oído humano, se supone que no es posible oír por debajo de este nivel, o sea, variaciones de nivel en la presión del aire inferiores a 0.00002 pascals.

La razón por la que se utiliza el decibelio es que, si no, tendríamos que estar manejando números o muy pequeños o excesivamente grandes, llenos de ceros, con lo que la posibilidad de error sería muy grande al hacer cálculos. Además, también hay que tener en cuenta que el comportamiento del oído humano está más cerca de una función logarítmica que de una lineal, ya que no percibe la misma variación de nivel en las diferentes escalas de nivel, ni en las diferentes bandas de frecuencias.

El Nivel Sonoro

Para medir el nivel sonoro disponemos de los sonómetros. Estos aparatos nos permiten conocer el Nivel de presión sonora o SPL (Sound Pressure Level). Normalmente, suelen ser sistemas digitales y presentan en una pantalla de cristal líquido los valores medidos. Estos siempre se dan como decibelios (dB) y en referencia al valor antes señalado de (2E-5 Pa). Con el sonómetro es posible, además de hallar el valor rms de la presión, también ver los picos máximos y niveles mínimos de la medida. Como se verá en el capítulo de ponderaciones, los sonómetros normalmente no dan la medida en dB lineales, sino que dan ya con la ponderación y son dBA/dBC, etc.

Una función muy utilizada a la hora de medir niveles de presión acústica y que ofrecen los sonómetros es la medición en modo Leq. Normalmente, se utiliza el Leq de 1 minuto (Leq a un minuto). El sonómetro mide las diferentes presiones que se generan durante un tiempo determinado (Leq X) siendo X=1X=1 minuto en nuestro caso. El valor que nos da al finalizar el minuto de medida es un valor en dB que equivaldría al de una señal de valor continuo durante todo el minuto y que utiliza la misma energía que se ha medido durante el minuto. Hay que observar que en una medida de un minuto los valores varían y si se quiere determinar un valor medio de ruido hay que hacerlo con la función Leq, de otra forma se obtendrán valores erróneos, puesto que podemos tener valores de pico durante un instante y no ser representativos del nivel de ruido normal que se está intentando determinar.

El dBA o la ponderación

En el punto anterior hemos visto que el dB es un valor lineal, quiere decir que los valores medidos son los valores tomados como válidos sin que sufran ninguna alteración. Si los valores de presión acústica los medimos de esta forma, linealmente, aun siendo cierta dicha medida, tendrá poco valor en cuanto a la percepción del oído humano. El oído no se comporta igual para el mismo nivel de presión en diferentes frecuencias. Por ejemplo, tomemos un sonido lineal en toda la banda de 20 Hz a 20 kHz, tenemos en todas las bandas un nivel de 30 dB, si nuestro oído fuese lineal oiríamos lo mismo o mejor con la misma intensidad auditiva las frecuencias más bajas, que las medias y que las agudas. Sin embargo, esto no es cierto, el oído humano tiene una menor sensibilidad en las frecuencias más graves y en las más agudas frente a las medias. Lo que más oímos, por tanto, son las frecuencias medias, y las que menos las más graves seguidas de las más agudas.

Como vemos, es necesario encontrar una forma de ajustar los niveles de dB que hemos medido con la percepción que el oído tiene de los mismos según cada frecuencia. Esta corrección se realiza ponderando los dB medidos mediante una tabla de ponderación ya especificada y que se llama tabla "A". Los decibelios ya ponderados en "A" se representan como dBA y los no ponderados, llamados lineales, como dB.

Por ejemplo, si en una frecuencia de 100 Hz hemos medido 80 dB, al ponderarlo pasarán a ser 60.9 dBA, esto quiere decir que un nivel de presión sonora de 80 dB en una frecuencia de 100 Hz es oído por nuestro sistema de audición como si realmente tuviese 60.9 dBA y no 80 dB.

Al final se adjuntan unas tablas con las ponderaciones de A y C.

Los niveles de sonido

Hemos visto que el decibelio es una función logarítmica y, por tanto, cuando hablamos de dB de presión sonora no es posible sumarlos sin más. Por ejemplo, 30 dB + 30 dB no es igual a 60 dB, sino a 33 dB como vamos a ver a continuación.

Para poder sumar dos decibelios podemos emplear la siguiente ecuación:

$$\text{Suma dB1} + \text{dB2} = 10\log\left(10^{\frac{dB1}{10}} + 10^{\frac{dB2}{10}}\right)$$

$$30\,\text{dB} + 30\,\text{dB} = 10\log\left(10^{\frac{30}{10}} + 10^{\frac{30}{10}}\right) =$$

$$10\log\left(10^{3} + 10^{3}\right) = 10\log(1000 + 1000) = 33\,\text{dB}$$

La suma de dos dB nunca puede ser más de 3 dB más que el mayor de los dos. Si la diferencia que hay entre los dos valores a sumar es mayor de 10 dB, la suma no tiene valor práctico y se toma el valor del mayor de los dos. Por ejemplo, si sumamos 20 dB + 10 dB, el resultado será igual a 20 dB (aproximado). Solamente son significativos para la suma los valores que tienen una diferencia menor a 10 dB.

Nivel de sonido perjudicial

Por encima de los 100 dBA es muy recomendable, siempre que sea posible, utilizar protectores para los oídos. Si la exposición es prolongada, por ejemplo, en puestos de trabajo, se considera necesario utilizar protectores en ambientes con niveles de 85 dBA, siempre y cuando la exposición sea prolongada. Los daños producidos en el oído por exposiciones a ruidos muy fuertes son acumulativos e irreversibles, por lo que se deben extremar las precauciones. De la exposición prolongada a ruidos se observan trastornos nerviosos, cardíacos y mentales.

Presión Acústica y Nivel de presión

La presión sonora, como hemos visto antes, es la presión que se genera en un punto determinado por una fuente sonora. El nivel de presión sonora (SPL) se mide en dB(A) SPL y determina el nivel de presión que realiza la onda sonora con relación a un nivel de referencia que es 2E-5 Pascal en el aire.

Es el parámetro más fácil de medir, se puede medir con un sonómetro. Su valor depende del punto donde midamos, del local, etc. Realmente no da mucha información sobre las características acústicas de la fuente, a no ser que se haga un análisis frecuencial de los niveles de presión, dado que el SPL siempre está influenciado por la distancia a la fuente, el local, etc.

Intensidad Acústica y el Nivel de Intensidad

Se puede definir como la cantidad de energía sonora transmitida en una dirección determinada por unidad de área. Con buen oído, se puede citar dentro de un rango de entre 0.000000000001 w por metro cuadrado, hasta 1 w.

Para realizar la medida de intensidades se utiliza actualmente analizadores de doble canal con posibilidad de espectro cruzado y una sonda que consiste en dos micrófonos separados a corta distancia. Permite determinar la cantidad de energía sonora que radia una fuente

dentro de un ambiente ruidoso. No es posible medirlo con un sonómetro. El nivel de intensidad sonora se mide en w/m².

Potencia Acústica y el Nivel de Potencia

La potencia acústica es la cantidad de energía radiada por una fuente determinada. El nivel de potencia acústica es la cantidad de energía total radiada en un segundo y se mide en w. La referencia es 1 pw = 1E-12 w.

Para determinar la potencia acústica que radia una fuente se utiliza un sistema de medición alrededor de la fuente sonora a fin de poder determinar la energía total irradiada.

La potencia acústica es un valor intrínseco de la fuente y no depende del local donde se halle. Es como una bombilla, puede tener 100 w y siempre tendrá 100 w, la pongamos en nuestra habitación o la pongamos dentro de una nave enorme, su potencia siempre será la misma. Con la potencia acústica ocurre lo mismo, el valor no varía por estar en un local reverberante o en uno seco. Al contrario de la presión acústica, que sí que varía según varíen las características del local donde se halle la fuente, la distancia, etc.

Velocidad de propagación del sonido

La velocidad de propagación del sonido en el aire es de unos 334 m/s, y a 0º es de 331.6 m/s. La velocidad de propagación es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta y es alrededor de 12 m/s mayor a 20º. La velocidad es siempre independiente de la presión atmosférica.

En el agua, la velocidad de propagación es de 1500 m/s. Es posible obtener medidas de temperatura de los océanos midiendo la diferencia de velocidad sobre grandes distancias.

Si necesitas más datos sobre la propagación del sonido en los materiales, recurre al CRC Handbook of Chemistry & Physics.

Tiempo de Reverberación

El Tiempo de Reverberación (RT) es el tiempo que tarda una señal, desde que esta deja de sonar, en atenuarse un nivel de 60 dB. Para realizar la medida se genera un ruido y se mide a partir de que este deja de sonar, entonces se determina el tiempo que tarda en atenuarse 60 dB.

El Tiempo de Reverberación se mide de forma frecuencial, esto es, un local no tiene el mismo RT en 200 Hz que en 4 kHz. Ello es debido a que el RT viene determinado por el

Volumen de la sala y por los coeficientes de absorción de sus superficies, o si se prefiere, por las superficies con un coeficiente de absorción determinado. Como los coeficientes de absorción de los diferentes materiales que componen cualquier local no son iguales para todas las frecuencias, las reflexiones generadas en el interior del local serán diferentes para cada frecuencia y, por lo tanto, el RT del local es diferente según las frecuencias.
Para calcular la RT de un local sin realizar mediciones se puede utilizar la fórmula de Sabine:

$$RT60 = 0.163 \times \left(\frac{V}{A}\right)$$

Donde:

- V = Volumen de la sala en m^3
- A = Superficie de absorción en m^2

Como norma, cuanto mayor es el local, mayor es el RT. Si los materiales que lo componen internamente son poco absorbentes, el RT también aumentará.
El valor de RT es muy importante si se quiere conseguir buenos niveles de inteligibilidad dentro de los locales.

Coeficiente de absorción de un material

El coeficiente de absorción de un material es la relación entre la energía absorbida por el material y la energía reflejada por el mismo. Dada esta formulación, su valor siempre está comprendido entre 0 y 1. El máximo coeficiente de absorción está determinado por un valor de 1, donde toda la energía que incide en el material es absorbida por el mismo, y el mínimo es 0, donde toda la energía es reflejada.

El coeficiente de absorción varía con la frecuencia y, por tanto, los fabricantes de materiales acústicos dan los coeficientes de absorción por lo menos en resolución de una octava.
Sabiendo los materiales de una sala y sabiendo sus coeficientes de absorción, podemos saber cómo sonará esa sala en cada frecuencia y podremos también saber, mediante la fórmula de Sabine, Eyring, etc., el tiempo de reverberación también por frecuencias.

Tablas de ponderación A, C y U (dB)

Nominal	Exacta	A-weight	C-weight	U-weight
10	10.00	-70.4	-14.3	0.0
12.5	12.59	-63.4	-11.2	0.0
16	15.85	-56.7	-8.5	0.0
20	19.95	-50.5	-6.2	0.0
25	25.12	-44.7	-4.4	0.0
31.5	31.62	-39.4	-3.0	0.0
40	39.81	-34.6	-2.0	0.0
50	50.12	-30.2	-1.3	0.0
63	63.10	-26.2	-0.8	0.0
80	79.43	-22.5	-0.5	0.0
100	100.00	-19.1	-0.3	0.0
125	125.9	-16.1	-0.2	0.0
160	158.5	-13.4	-0.1	0.0
200	199.5	-10.9	0.0	0.0
250	251.2	-8.6	0.0	0.0
315	316.2	-6.6	0.0	0.0
400	398.1	-4.8	0.0	0.0
500	501.2	-3.2	0.0	0.0

Nominal	Exacta	A-weight	C-weight	U-weight
630	631.0	-1.9	0.0	0.0
800	794.3	-0.8	0.0	0.0
1000	1000.0	0.0	0.0	0.0
1250	1259	+0.6	0.0	0.0
1600	1585	+1.0	-0.1	0.0
2000	1995	+1.2	-0.2	0.0
2500	2512	+1.3	-0.3	0.0
3150	3162	+1.2	-0.5	0.0
4000	3981	+1.0	-0.8	0.0
5000	5012	+0.5	-1.3	0.0
6300	6310	-0.1	-2.0	0.0
8000	7943	-1.1	-3.0	0.0
10000	10000	-2.5	-4.4	0.0
12500	12590	-4.3	-6.2	-2.8
16000	15850	-6.6	-8.5	-13.0
20000	19950	-9.3	-11.2	-25.3
25000	25120	-37.6		
31500	31620	-49.7		
40000	39810	-61.8		

Eco, Reverberación y Resonancia

Cuando se genera un sonido en el interior de un local, las superficies que componen el mismo ocasionan una serie de diferentes efectos dependiendo de las características de dichas superficies.

Esto ocurre porque las ondas sonoras inciden en las diferentes superficies y estas las reflejan de diferente forma según su coeficiente de reflexión acústica.

Como es lógico, primero siempre se percibe el sonido directo, esto es, el sonido que nos llega a nuestro oído sin que sé aún se haya reflejado en ninguna superficie. Una vez recibido el sonido directo, llegará a nuestros oídos, con un retraso de tiempo con respecto al sonido directo, el sonido reflejado por las superficies del local.

Tanto el retraso como el nivel sonoro del sonido reflejado dependen de las características físicas del local y sus superficies.

Si el retraso entre el sonido directo y el reflejado es mayor de 1/10 de segundo, nuestro sistema de audición será capaz de separar las dos señales y percibirlas como tales, primero una y después la otra, esto es lo que se entiende por eco. Por ejemplo, supongamos que estamos dentro de un local de grandes dimensiones y una persona que está separada de nosotros a cierta distancia nos dice "HOLA"; primero llegará a nuestros oídos el "HOLA" del sonido directo, y en el caso de un eco, este nos llegará como mínimo 1/10 segundo después, por lo tanto, oiremos "HOLA…(1/10 segundo mínimo)… HOLA,", y lo interpretaremos efectivamente como dos mensajes diferentes separados por un intervalo de tiempo determinado. Sin embargo, nuestro interlocutor únicamente ha articulado un "HOLA".

Cuando en la misma situación que en el caso anterior, el sonido reflejado nos llega con un tiempo inferior a 1/10 de segundo, nuestro sistema de audición no es capaz de separar ambas señales y las toma como una misma, pero con una duración superior de esta. Normalmente, esto se entiende como reverberación. La reverberación de un local se mide según su tiempo de reverberación (RT) en segundos y varía según la frecuencia de análisis que se utilice. Esto es debido a que los diferentes materiales que componen las superficies del local no se comportan por igual en todo el espectro sonoro, y, por tanto, los coeficientes de absorción de cada superficie de un mismo material varían según la frecuencia. Conociendo el tiempo de reverberación de un local podemos saber cómo se comportará el

mismo en diferentes aplicaciones. Cuando el tiempo de reverberación alcanza valores muy altos con respecto al sonido directo, puede ocurrir un enmascaramiento de este y se puede perder la capacidad de entender la información contenida en el mensaje que se percibe.
La resonancia se ocasiona cuando un cuerpo entra en vibración por simpatía con una onda sonora que incide sobre él y coincide su frecuencia con la frecuencia de oscilación del cuerpo o esta es múltiplo entero de la frecuencia de la onda que le incide.

Altura (tono) de un sonido

Como ya sabemos, la frecuencia es una entidad física y, por tanto, puede ser medida de forma objetiva por diferentes medios. Por contra, la altura o tono de un sonido es un fenómeno totalmente subjetivo y, por tanto, no es posible medirlo de forma objetiva.
Normalmente, cuando se aumenta la frecuencia de un sonido, su altura también sube, sin embargo, esto no se da de forma lineal, o sea, no se corresponde la subida del valor de la frecuencia con la percepción de la subida de tono.

La valoración subjetiva del tono se ve condicionada no solo por el aumento de la frecuencia, sino también por la intensidad y por el valor de dicha frecuencia. Para frecuencias inferiores a 1.000 Hz (incluida está), si se aumenta la intensidad, el tono disminuye; entre 1.000 Hz y 5.000 Hz, el tono es prácticamente independiente de la intensidad que tenga; por encima de 5.000 Hz, el tono aumenta si aumenta la intensidad.
La unidad de altura es el "Mel" (en ocasiones se utiliza el "Bark", equivalente a 100 "Mels").

El timbre

¿Por qué podemos distinguir el sonido de un piano al de una trompeta, o el de un violín a una viola, o la voz de nuestro hermano con la de un amigo?
El timbre hace posible que cada instrumento pueda tener un color determinado y particular que lo distingue de otros, aun cuando su espectro sonoro pueda parecer similar.
El timbre está formado por un conjunto de frecuencias de alturas sonoras fijas (ámbito de formantes). De forma sencilla, se puede decir que el timbre lo forma la frecuencia fundamental del instrumento, más su composición armónica.
La frecuencia fundamental de dos instrumentos diferentes puede ser la misma, pero su composición armónica es diferente y es lo que hace que los podamos distinguir. Por ejemplo, si generamos una frecuencia de 440 Hz con un piano y con una guitarra, aun cuando ambos

están afinados en la misma frecuencia y generando la misma, cada uno suena diferente. Esto es debido a que cada instrumento genera una serie de armónicos según la construcción del propio instrumento, en el piano el arpa metálico y la caja generan una serie de armónicos con una serie de niveles sonoros que le dan su sonido característico. En la guitarra, la caja, las cuerdas, etc. le confieren a la misma frecuencia un sonido diferente.

La forma de ejecutar el instrumento y la intensidad hacen también que el timbre varíe, al hacer variar su composición armónica.

Efecto Doppler

El efecto Doppler se origina cuando hay un movimiento relativo entre la fuente sonora y el oyente, cuando cualquiera de los dos se mueve con respecto al medio en el que las ondas se propagan. El resultado es la aparente variación de la altura del sonido. Existe una variación en la frecuencia que percibimos con la frecuencia que la fuente origina.

Para entenderlo mejor, supongamos que estamos parados en el andén de una estación, a lo lejos un tren viene a gran velocidad con la sirena accionada, mientras el tren esté lejos de nosotros oiremos el silbido de la sirena como una frecuencia determinada, cuando el tren pase delante nuestro y siga su camino, el sonido de la sirena cambia con respecto al estábamos oyendo y con respecto al que vamos a oír una vez que el tren nos rebasa y sigue su camino.

La frecuencia que aparente se puede determinar según las siguientes fórmulas:

- Fuente móvil:

$$fx = \left(\frac{c}{c-u}\right) fs$$

- Receptor en movimiento:

$$fx = \left(\frac{c-v}{c}\right) fs$$

- Ambos en movimiento:

$$fx = \left(\frac{c-v}{c-u}\right) fs$$

Donde:

- fx = Frecuencia aparente
- c = Velocidad del sonido
- v = Velocidad del observador
- u = Velocidad de la fuente

Octava, media octava y tercio de octava

El término de octava se toma de una escala musical, se considera el intervalo entre dos sonidos que tienen una relación de frecuencias igual a 2 y que corresponde a ocho notas de dicha escala musical. Por ejemplo, si comenzamos con una nota como DO, la octava completa será: DO-RE-MI-FA-SOL-LA-SI-DO. Si el primer DO estaba afinado en 440 Hz, el segundo estará en 880 Hz, ya que hemos indicado que en la octava hay una relación de frecuencias igual a 2.

En el caso de un ecualizador gráfico de una octava, las frecuencias centrales de los filtros podrían ser las siguientes: 16 Hz - 31.5 Hz - 63 Hz - 125 Hz - 250 Hz - 500 Hz - 1 kHz - 2 kHz - 4 kHz - 8 kHz - 16 kHz. En algunos casos, la relación de 2:1 de la octava no se cumple exactamente.

Cuando se necesitan filtros de mayor precisión, de un ancho de banda más estrecho, se puede dividir la octava en valores más pequeños, por ejemplo, la media octava divide cada octava en dos, y, por tanto, tendremos el doble de puntos que, en una octava, siguiendo con el ejemplo empleado en una octava tendríamos: 16 Hz - 22.4 Hz - 31.5 Hz - 45 Hz - 63 Hz - 90 Hz - 125 Hz - 180 Hz - 250 Hz - 355 Hz - 500 Hz - 710 Hz - 1 kHz - 1.4 kHz - 2 kHz - 2.8 kHz - 4 kHz - 5.6 kHz - 8 kHz - 11.2 kHz - 16 kHz.

En el caso de un tercio de octava, cada intervalo de la octava se divide en tres partes con lo que tendremos tres veces más de filtros para poder ajustar, quedando los cortes como siguen: 16 Hz - 20 Hz - 25 Hz - 31.5 Hz - 40 Hz - 50 Hz - 63 Hz - 80 Hz - 100 Hz - 125 Hz - 160 Hz - 200 Hz - 250 Hz - 315 Hz - 400 Hz - 500 Hz - 630 Hz - 800 Hz - 1 kHz - 1.25 kHz - 1.6 kHz - 2 kHz - 2.5 kHz - 3.15 kHz - 4 kHz - 5 kHz - 6.3 kHz - 8 kHz - 10 kHz - 12.5 kHz - 16 kHz.

Filtro de ancho de banda constante

Un filtro de ancho de banda constante consiste básicamente en un filtro de banda estrecha sintonizable y constante. Esto nos permite seleccionar la frecuencia central que deseamos y también el ancho de banda del filtro. El ancho de banda del filtro viene dado por el siguiente valor:

Y la frecuencia central del filtro se obtiene normalmente de:

$$w = f2 - f1$$

Siendo w = ancho de banda del filtro, $f2$ = frecuencia superior y $f1$ = frecuencia inferior.

Y la frecuencia central del filtro se obtiene normalmente de:

$$fc = \sqrt{f1 \times f2}$$

La frecuencia central se puede ajustar a cualquier punto del espectro y mantiene siempre el mismo ancho de banda. Por ejemplo, supongamos que tenemos un filtro de ancho de banda constante con un ancho de banda de 20 Hz, si lo colocamos de forma que la frecuencia inferior sea 100 Hz (f1), la superior será igual a 120 Hz y su frecuencia central será 109.54 Hz aproximadamente. Si ahora nos desplazamos a un margen de frecuencias superior, f1=4.000 Hz$f1=4.000$ Hz, f2$f2$ será igual a 4020 Hz y la frecuencia central será 4010 Hz. Como se ve, el ancho de banda siempre es constante y no varía al variar el punto de trabajo del filtro.

Filtro de ancho de banda proporcional

Los filtros de ancho de banda proporcional son filtros que cumplen la premisa de $f2/f1$=constante, o sea que si dividimos la frecuencia superior por la inferior siempre nos tiene que dar un valor que sea constante, por lo que el ancho de banda es proporcional a la frecuencia central. En el caso de un filtro de octava y de tercio de octava, la relación de proporción es:

- Octava: $f2/f1 = 2$
- Tercio de Octava: $f2/f1 = 2^{1/3}$

Como es fácil deducir, el ancho de banda de este tipo de filtros varía al variar la frecuencia, cuanto más subimos, mayor es el ancho de banda, siempre manteniendo la proporción expresada según el filtro sea de octava, tercio, etc.

Cada vez que subimos una octava, doblamos el ancho de banda del filtro. Por ejemplo, supongamos que estamos trabajando con un filtro de 1/3 de octava y nos situamos en la frecuencia de 100 Hz, tenemos que la frecuencia inmediatamente inferior es 80 Hz y la superior 125, podemos obtener la relación de proporcionalidad del filtro según:

$$f2/f1 = \text{constante}$$

$$125/80 = 1.56$$

Podemos ver que tenemos un valor de 1.56 y que corresponde a un ancho de banda de:

$$f2 - f1 = 125 - 80 = 45\,\text{Hz}$$

Si ahora con el mismo valor de la proporción (1.56) colocamos el filtro en la central de 200 Hz en lugar de los 100 Hz de antes, veremos que la proporción se mantiene, pero el ancho de banda aumenta justo al doble:

$$f2/f1 = 250/160 = 1.56$$

$$f2 - f1 = 250 - 160 = 90\,\text{Hz}$$

Cada vez que subamos la frecuencia central, aumentará el ancho de banda del filtro en la proporción expresada (1 octava = 2 y 1/3 octava = 21/321/3). Cada vez que doblamos la frecuencia, se dobla el ancho de banda del filtro. Por lo tanto, este tipo de filtros resultan más precisos en las frecuencias bajas que en las altas, ya que en frecuencias como 8 kHz el ancho de banda aumenta hasta 3.700 Hz, mientras que como hemos visto para el mismo filtro en la frecuencia de 100 Hz tiene un ancho de banda de 45 Hz.

Los filtros proporcionales con resoluciones de octava, tercio, etc., son los más utilizados tanto en analizadores como en ecualizadores para fines musicales y acústicos.

Ruido rosa

El ruido rosa es un ruido cuyo nivel sonoro está caracterizado por un descenso de tres decibelios por octava. Cuando el ruido rosa se visualiza en un analizador con filtros de octava, el ruido se ve como si todas las bandas de octava tuviesen el mismo nivel sonoro, lo cual es cierto, pero el ruido rosa no tiene el mismo nivel en todas las frecuencias.

Esto ocurre porque, como hemos visto en el capítulo anterior, los filtros de octava, tercio, etc., son filtros proporcionales y, por tanto, cada vez que subimos una octava, doblamos el ancho de banda y por ese motivo el ruido rosa decrece 3 dB por octava, justo la proporción

en que aumenta el ancho de banda, el doble. De esta forma visualizamos el ruido rosa como un ruido de nivel constante en todas las bandas de octava.

Se utiliza para analizar el comportamiento de salas, altavoces, equipos de sonido, etc. Es una señal conocida, mismo nivel en todas las bandas (sonido "plano"), y si lo amplificamos con un altavoz dentro de una sala podemos conocer datos sobre el comportamiento acústico del altavoz, la sala, etc. Normalmente, se genera entre 20 Hz y 20 kHz. Su sonido es muy parecido al que podemos oír cuando se sintoniza entre dos emisoras de FM, en el espacio que se recibe únicamente el ruido, es como un soplido.

Ruido blanco

El ruido blanco es un ruido cuyo nivel es constante en todas las frecuencias. Si lo visualizamos con un analizador con filtros de octava, veremos que el espectro mostrado no es lineal como hemos dicho que es el ruido blanco, sino que aumenta 3 dB por octava. Esto se debe al mismo fenómeno que con el ruido rosa, al doblar la octava se dobla el ancho de banda y si tenemos el mismo nivel sonoro en todas las frecuencias, el nivel sonoro por octava se doblará y aumentará 3 dB con respecto al anterior.

Disminución espacial del nivel sonoro

Si tenemos una fuente sonora determinada y estamos situados a una distancia de ella, al alejarnos o acercarnos el nivel de presión sonora varía según las características de la fuente, el lugar donde se encuentre y la distancia entre otros factores. Podemos calcular el nivel de presión acústica dentro de un local en cualquier punto con la siguiente fórmula:

$$Lp = Lw + 10\log\left(\left(\frac{Q}{4\pi r^2}\right) + \left(\frac{4}{R}\right)\right)$$

Donde:

- Lp = Nivel de presión sonora
- Lw = Nivel de potencia de la fuente sonora en dB
- Q = Directividad de la fuente sonora
- r = distancia entre la fuente y el punto de medida en metros
- R = constante acústica del local (m^2)

En espacios al aire libre se considera que cada vez que se dobla la distancia entre la fuente sonora y el oyente, se disminuye el nivel sonoro en 6 dB. Por ejemplo, supongamos que estamos escuchando un altavoz a una distancia de 10 metros, si utilizamos un sonómetro y medimos el nivel de presión acústica obtenemos un valor supuesto de 80 dB, si ahora nos distanciamos 10 metros más, o sea doblamos la distancia del punto inicial, obtendremos una lectura de 74 dB, 6 dB menos que en el primer punto, si por último nos alejamos 20 metros de este último punto, doblando así su distancia, estamos a 40 metros de la fuente, obtendremos también un descenso de 6 dB, tendremos, por tanto, 68 dB.

Glosario

- **El Sonido:** El sonido se compone de duración, intensidad, amplitud o frecuencia y timbre.
- **Intensidad:** Cantidad de energía sonora presente en un punto.
- Amplitud: Valor máximo de una onda acústica en un semiperíodo.
- **Frecuencia**: Número de ciclos, períodos o vibraciones que tienen lugar en una unidad de tiempo.
- **Timbre:** Calidad de un sonido que permite distinguirlo de otros que tienen idéntica altura e intensidad.
- **Ecualizador:** Aparato destinado a igualar o hacer constantes las características de amplitud o de fase en función de la frecuencia.
- **Dinámica:** Relación entre los niveles de máximo y mínimo de una magnitud electroacústica.
- **Puerta de Ruido:** Procesador que sirve para eliminar el ruido no deseado de una señal. El usuario define el nivel bajo el cual no puede pasar señal alguna.
- **Interface:** Se refiere a cualquier concepto que ayude a interconectar.
- **Compresión:** Atenúa gradualmente el audio, se reducen los niveles superiores y se enfatizan los niveles inferiores.
- **Bucle o Loop:** Segmentos de audio ajustados para que puedan sonar con un ritmo coherente al reproducirlos una y otra vez.
- **Hertz:** Unidad de frecuencia que se representa con el símbolo Hz y equivale a un ciclo por segundo.
- **Kilohertz:** Unidad de frecuencia equivalente a 1000 hertz, su símbolo es kHz.

Bibliografía:

1. *Apuntes audio digital | PDF [Internet]. SlideShare; 2014 Jun 10 [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://www.slideshare.net/slideshow/apuntes-audio-digital/35714687*
2. *Cursos, proyectos, tutoriales y libros gratis sobre Audio (1) [Internet]. Apuntes de Electrónica; [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://www.apuntesdeelectronica.com/audio/*
3. *Audio Apuntes - Apuntes en audio para opositores [Internet]. Audio Apuntes; [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://audioapuntes.com/*
4. *Tema-6-resumen-PFV.pdf [Internet]. Wuolah; 2021 Feb 21 [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://wuolah.com/apuntes/equipos-de-audio/temario-resumenes-tema-6-resumen-pfv-pdf-3848990*
5. *¿Cómo Convertir un PDF en un Archivo de Audio 2025? [Internet]. Wondershare; 2024 Dec 25 [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://pdf.wondershare.es/pdf-knowledge/convert-pdf-to-audio.html*
6. *Cursos, proyectos, tutoriales y libros gratis sobre Audio (3) [Internet]. Apuntes de Electrónica; [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://www.apuntesdeelectronica.com/audio/index-3.htm*
7. *Las 12 mejores apps para tomar apuntes digitales - HardPeach Blog [Internet]. HardPeach Blog; 2024 Nov 14 [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://blog.hardpeach.com/mejores-apps-para-apuntes-digitales/*
8. *(PDF) Apuntes audio digital - DOKUMEN.TIPS [Internet]. Dokumen.tips; 2022 Oct 18 [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://dokumen.tips/technology/apuntes-audio-digital.html*
9. *Apuntes Medios Audiovisuales: El sonido | PPT [Internet]. SlideShare; 2018 Feb 15 [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://www.slideshare.net/rogercrunch/apuntes-medios-audiovisuales-el-sonido*
10. *Enciclopedia de Audio - Apuntes de Electrónica [Internet]. Apuntes de Electrónica; [cited 2024 Jan 29]. Available from: https://www.apuntesdeelectronica.com/audio/enciclopedia-de-audio.htm*



Xavier Pardell

DOI: 10.13140/RG.2.2.30151.61603